

ВЛИЯНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЖАРОПРОЧНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Васильев А. С., Асанова Д. С., Попов Н. А.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия
timoshka_94@mail.ru, daria.asanova@urfu.ru, n.a.popov@urfu.ru

Аннотация. Работа посвящена изучению влияния гадолиния на формирование фазового состава и структуры жаропрочного титанового сплава после различных температурных выдержек. Исследования проводили на образцах сплава VT18U легированного 0,4 % Gd и сплава VT1-0 также с добавлением 0,4 % Gd.

Было доказано, что повышение температуры выдержки от 1050 до 1300 °C способствует трансформации частиц с гадолинием к неправильной форме. Показано, что при различных температурных выдержках происходит перераспределение выделившихся интерметаллидных и оксидных частиц сплавов.

Ключевые слова: титановый сплав, редкоземельный элемент, термическая обработка, структура, фазовый состав.

INFLUENCE OF RARE-EARTH METALS ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF HEAT-RESISTANT TITANIUM ALLOYS

Vasilev A., Asanova D., Popov N.

Ural federal university Ekaterinburg, Russia
timoshka_94@mail.ru, daria.asanova@urfu.ru, n.a.popov@urfu.ru

Abstract. The work is devoted to studying the effect of gadolinium on the formation of the phase composition and structure of a heat-resistant titanium alloy after various temperature exposures. Studies were performed on samples of alloy VT18U doped with 0.4% Gd and alloy VT1-0 also with the addition of 0.4% Gd.

It has been proven that raising the holding temperature from 1050 to 1300 °C contributes to the transformation of particles with gadolinium to an irregular shape. It is shown that at different temperature exposures the redistribution of precipitated intermetallic and oxide alloys particles occurs.

Key words: titanium alloy, a rare earth element, heat treatment, structure, phase composition.

Сплавы на основе титана являются одним из важнейших конструкционных материалов. Их применение наиболее целесообразно в тех областях техники, где необходимо сочетание высокой удельной прочности, жаропрочности (хладостойкости) и коррозионной стойкости во многих агрессивных средах: судостроении, авиации, химической промышленности и т.д. [1].

Современная авиационная промышленность нуждается в сплавах с повышенной жаропрочностью, поэтому, одной из возможностей увеличения рабочих температур титановых сплавов является их микролегирование редкоземельными элементами.

Целью данной работы является установление влияния гадолиния на формирование фазового состава и структуры жаропрочного титанового сплава BT18Y и BT1-0 после различных температурных выдержек.

Исследования проводили на образцах экспериментальных плавок сплава BT18Y легированного 0,4 % Gd и сплава BT1-0 также с добавлением 0,4 % Gd, химический состав которых приведен в таблицах 1 и 3.

Таблица 1. Химический состав сплава BT18Y+0,4%Gd, масс. % [2]

Содержание легирующих элементов, масс. %												
Al	Mo	Zr	V	Nb	Si	Fe	Sn	Gd	O	C	H	Ti
6,91	0,71	4,09	0,043	1,03	0,16	0,04	2,69	0,4	до 0,14	до 0,1	до 0,015	основа

Ниже приведены (таблица 2) некоторые механические характеристики жаропрочного сплава BT18Y в условиях различных температур.

Таблица 2. Сравнительные свойства BT18Y [2]

$\sigma_B^{20^\circ}$	$\sigma_{100}^{500^\circ}$	$\sigma_{100}^{600^\circ}$	$\sigma_{0.2/100}^{500^\circ}$	$\sigma_{0.2/100}^{600^\circ}$
МПа				
971	580	190	270	40

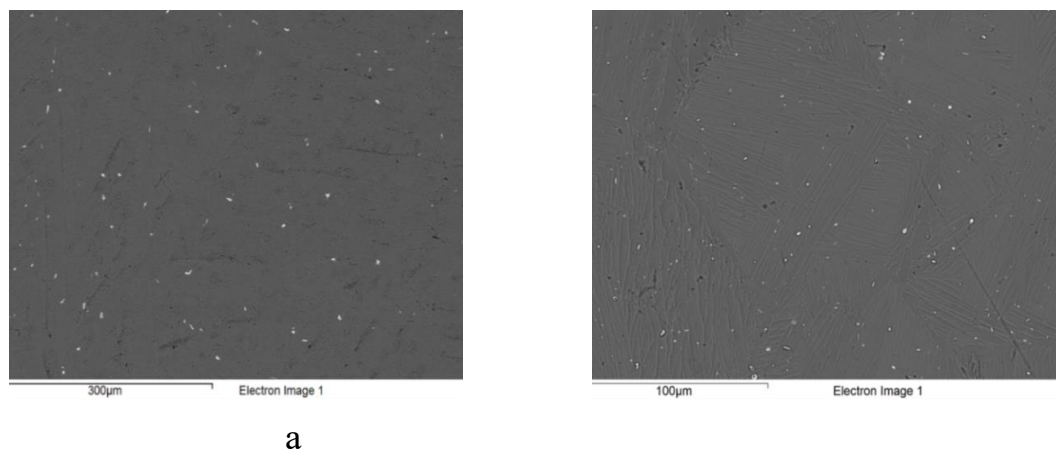
Таблица 3. Химический состав сплава BT1-0+0,4%Gd, масс. % [2]

Содержание легирующих элементов, масс. %						
C	Si	N	O	Al	Gd	Ti
до 0,07	до 0,1	до 0,04	до 0,2	до 0,7	0,4	основа

Ранее обсуждалось [3], что одну из главных ролей в формировании конечного комплекса свойств титановых сплавов играет морфология основных фаз сплава – α и β – формируемая, как правило, при высокотемпературной обработке. Также необходимо отметить, что большое значение имеет и выделение частиц второй фаз (силициды и интерметаллиды) в результате различных температурных выдержек.

Детальный анализ структуры сплавов после выдержки в печи при 1200 °С с последующим охлаждением на воздухе показал, что происходит выделение частиц второй фазы (рисунок 1). По сечению полуфабриката прослеживается однородность по морфологии.

В структуре сплава ВТ18У (рисунок 1, б) наблюдается формирование пластинчатой ($\alpha+\beta$)-структуры с полиэдрическими β -зернами и колониальным расположением α -пластин, разделенных тонкими непрерывными прослойками β -фазы в теле зерен.



а

а – ВТ1-0+0,4%Gd; б – ВТ18У+0,4%Gd

Рисунок 1 – Структуры сплавов после температурной выдержки 1200 °С в течение часа с охлаждением на воздухе

В структуре ВТ18У+0,4%Gd замечены, как указывалось ранее, также выделения частиц второй фазы, но более округлой формы. Необходимо отметить, что в теле данных выделений имеются области темного цвета. Такое явление дает нам предполагать, что данные выделения могут быть интерметаллидами гадолиния [3].

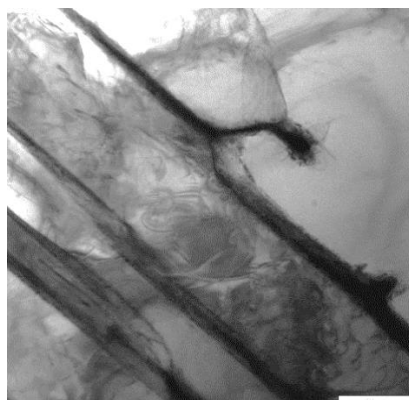
Для определения типа выделяющихся фаз, а также выявления характерных особенностей изменений морфологии фаз, зафиксированных при высокотемпературной обработке (α и β), были проведены исследования методами просвечивающей электронной микроскопии и рентгеноструктурного фазового анализа.

С помощью просвечивающего электронного микроскопа были исследованы различные участки образцов, подвергшихся термической обработке при температурах 1050 °С и 1300 °С (рисунок 2 и 3).



а

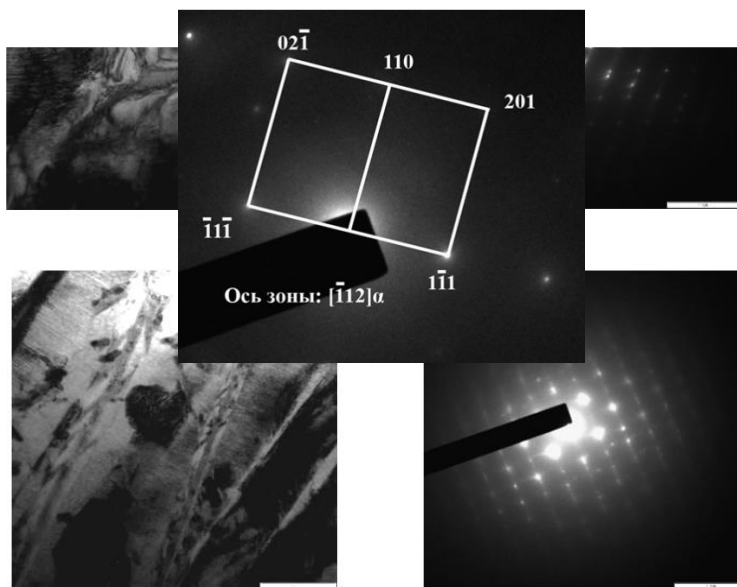
б



час

в

г



а, в – результаты ПЭМ; б, г – электронограммы

Рисунок 3 – Сплав ВТ18У+0,4Gd после выдержки 1300 °С , 1 час

При проведении исследования методом просвечивающей электронной микроскопии показано, что после температурных выдержек в сплаве формируется пластинчатая структура (рисунок 2 и 3). На β -прослойках иногда видны выделения второй фазы (рисунок 2, в). В α -фазе наблюдаются относительно крупные (200...400 нм) частицы. Методом микродифракции на данном этапе не удалось определить тип этих частиц, но, можно сделать вывод, что, эти частицы представляют собой интерметаллиды системы гадолиний-олово.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что микролегирование сплавов ВТ1-0 и ВТ18У гадолинием не приводит к изменению структуры сплава.
2. Обнаружено, что гадолиний, как легирующий элемент связывается с другими и образует оксидные и интерметаллидные соединения (Gd_2O_3 и Gd_5Sn_3) с последующим выделением из твердого раствора сплава.
3. Показано, что при проведенных термических обработках сплавов происходит перераспределение выделившихся интерметаллидных и оксидных частиц сплава.
4. Повышение температуры выдержки от 1050 до 1300°С способствует трансформации частиц с гадолинием ближе к кубоидной форме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Колачев Б. А. Титановые сплавы в конструкциях и производстве авиадвигателей и авиационно-космической техники: учебник / Б. А. Колачев [и др.]. М.: МАИ, 2001. 412 с.
2. Демченко К. Ю., Попов А. А., Карабаналов М. С. Влияние структуры, химического и фазового состава на жаростойкость титановых сплавов: учебн. пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2014 С. 5.
3. Васильев А.С. Изучение влияния гадолиния на структуру и фазовый состав сплава ВТ18У / А.С. Васильев, Н.А. Попов // Научно- технический журнал «Титан» 2017. № 1 (55).
4. Попов А. А. Структура и свойства титановых сплавов: учеб. пособие. Ч. 1. Процессы формирования структуры. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2008. С. 138.
5. Лесников В.П. Фазовые превращения в монокристаллическом жаропрочном никелевом сплаве, легированном танталом, рением и рутением / В.П Лесников, В.П. Кузнецов, А.С. Васильев [и др.]. // Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: ООО «Фолиум», 2018. С. 41-46.